

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**



**ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN**

**RECUPERACIÓN DE ROTOR DE MOTOR ELÉCTRICO  
DE 150 HP EN PLANTA SAN JOSÉ CALDERAS**

**INGENIERA INDUSTRIAL SIGRID ALITZA CALDERÓN  
DE LEÓN DE DE LEÓN**

**Guatemala, mayo de 2007**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN**

**RECUPERACIÓN DE ROTOR DE MOTOR ELÉCTRICO  
DE 150 HP EN PLANTA SAN JOSÉ CALDERAS**

**POR**

**INGENIERA INDUSTRIAL SIGRID ALITZA CALDERÓN  
DE LEÓN DE DE LEÓN**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**MAESTRO EN ARTES DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**Guatemala, mayo de 2007**

# **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing. Jose Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR:	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **RECUPERACIÓN DE ROTOR DE MOTOR ELÉCTRICO DE 150 HP EN PLANTA SAN JOSÉ CALDERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 2 de Mayo del 2007.

Ingeniera Industrial. Sigrid Alitza Calderón de León De de León

## ÍNDICE GENERAL

<b>Indice de figuras</b>	<b>VII</b>
<b>Indice de Tablas</b>	<b>VIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Generalidades</b>	<b>XI</b>
<b>Planteamiento del problema</b>	<b>XIII</b>
<b>Objetivos</b>	<b>XIV</b>
<b>Justificación</b>	<b>XV</b>
<b>Introducción</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Marco metodológico</b>	<b>01</b>
1.1 <b>Método de investigación</b>	<b>01</b>
1.1.1 <b>Método inductivo</b>	<b>01</b>
1.1.2. <b>Método Analítico</b>	<b>01</b>
1.2 <b>Técnicas de investigación a utilizar</b>	<b>01</b>
<b>2. Marco teórico</b>	
2.1 <b>Aspectos del Reacondicionamiento de Motores</b>	<b>03</b>
2.2 <b>Eficiencia de un Motor</b>	<b>04</b>
2.3 <b>Administración de la Demanda</b>	<b>12</b>
2.4 <b>Recomendaciones Generales para Ahorro de Energía</b>	<b>14</b>
2.5 <b>Factores de Instalación de Motores Eléctricos</b>	<b>15</b>
2.5.1 <b>Código Nacional Eléctrico</b>	<b>15</b>
2.5.2 <b>Ubicación</b>	<b>16</b>
2.5.3 <b>Montaje</b>	<b>16</b>
2.5.4 <b>Alineamiento</b>	<b>16</b>
2.6 <b>Inspección general</b>	<b>24</b>
<b>3. Evaluación Actual del Motor</b>	

<b>3.1</b>	<b>Caracterización del sistema</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Criticidad del Equipo</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Implicación en la Eficiencia del Proceso</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Problemática Presentada por el Rotor del Motor Eléctrico</b>	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Deficiencia de Reparaciones Anteriores al Eje del Motor</b>	<b>31</b>
<b>3.6</b>	<b>Propuesta y Toma de Desiciones para el Funcionamiento del Motor del pozo 2 de la Geotérmica de San José Calderas</b>	<b>34</b>
	<b>3.6.1. Comprar Vrs. Reparar</b>	<b>34</b>
	<b>3.6.2. Valor de Reventa</b>	<b>35</b>
<b>3.7</b>	<b>Alternativas de Solución</b>	<b>35</b>
<b>3.8</b>	<b>Análisis Económico</b>	<b>35</b>
<b>3.9</b>	<b>Recuperación del Rotor</b>	<b>37</b>
<b>3.10</b>	<b>Proceso de Recuperación</b>	<b>40</b>
<b>3.11</b>	<b>Verificación de Calidad por parte del Cliente</b>	<b>44</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>46</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>48</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>49</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

- 1. Diagrama del proceso de generación de energía con vapor proveniente de la tierra.**
- 2. Motor de Inducción.**
- 3. Turbó maquina dañada por falta del motor.**
- 4. Motor eléctrico dañado.**
- 5. Desgaste Adhesivo.**
- 6. Deformación del Rotor.**
- 7. Efectos Negativos de un desalineamiento.**
- 8. Lecturas de excentricidad.**
- 9. Metalizado.**
- 10. Metalizado en Caliente.**
- 11. Proceso de Maquinado.**
- 12. Primer Muñón.**
- 13. Proceso de maquinado de lado derecho.**
- 14. Montaje del motor eléctrico.**
- 15. Verificación de funcionamiento.**

## **ÍNDICE DE TABLAS**

- I. DEFINICION DE EFICIENCIA**
- II. CLASIFICACION DE PERDIDAS DE CORRIENTE**
- III. AJUSTES DE EFICIENCIA POR VARIACION  
VOLTAJE**
- IV. AJUSTES DE EFICIENCIA POR DESBALANCEO  
DE VOLTAJE.**



## RESUMEN

Es significativo el hecho de que los motores eléctricos, suministran en su mayor parte, la energía mecánica que mueve los accionamientos industriales, por lo que la operación y conservación de los motores en la industria, representa uno de los campos mas fértiles de oportunidades en el ahorro de energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

La recuperación de piezas es un tema importante en países como el nuestro debido a que no existen medios rápidos y económicos de suministros de repuestos, por lo que es necesario conocer, aspectos a que nos ayuden a tomar la decisión de recuperar o cambiar piezas. Este proyecto es una aplicación de la recuperación de un equipo crítico dentro de un proceso de producción, de donde el conocimiento de los factores que influyen en este tipo de toma de decisiones, es determinante para obtener los resultados esperados.

Los objetivos a alcanzar en esta investigación son los siguientes:

- Recuperar equipo crítico (eje de motor de 150 Hp), para evitar perdidas en la producción de energía eléctrica en la planta geotérmica de San José Calderas.
- Identificar las causas que influyeron en el eje del motor de 150Hp de la bomba centrífuga de evacuación de condensado.
- Reemplazar el motor por uno nuevo.
- Determinar el procedimiento más adecuado y seguro para recuperar el eje de dicho motor.
- Evaluar las nuevas características del motor recuperado.
- Realizar una comparación del costo de un motor nuevo contra uno reparado.
- Analizar la eficiencia del motor reparado vrs. Su ficha técnica de fábrica.

La metodología empleada en este trabajo se considera del tipo descriptivo, utilizando los métodos tanto analíticos como inductivos.

La finalidad de este trabajo es demostrar de una forma práctica los diferentes factores a tomar en cuenta para establecer si es factible recuperar una pieza, o cambiarla, y de esta premisa se desprenden las siguientes conclusiones:

La recuperación de piezas es una opción que siempre debe analizarse para determinar sus ventajas técnicas, de seguridad y económicas.

De acuerdo a las pérdidas de producción y al costo de la recuperación del motor este se recupera con 2.16 horas de operación de la planta.

El balanceo del rotor es un factor importante para la buena operación del mismo.

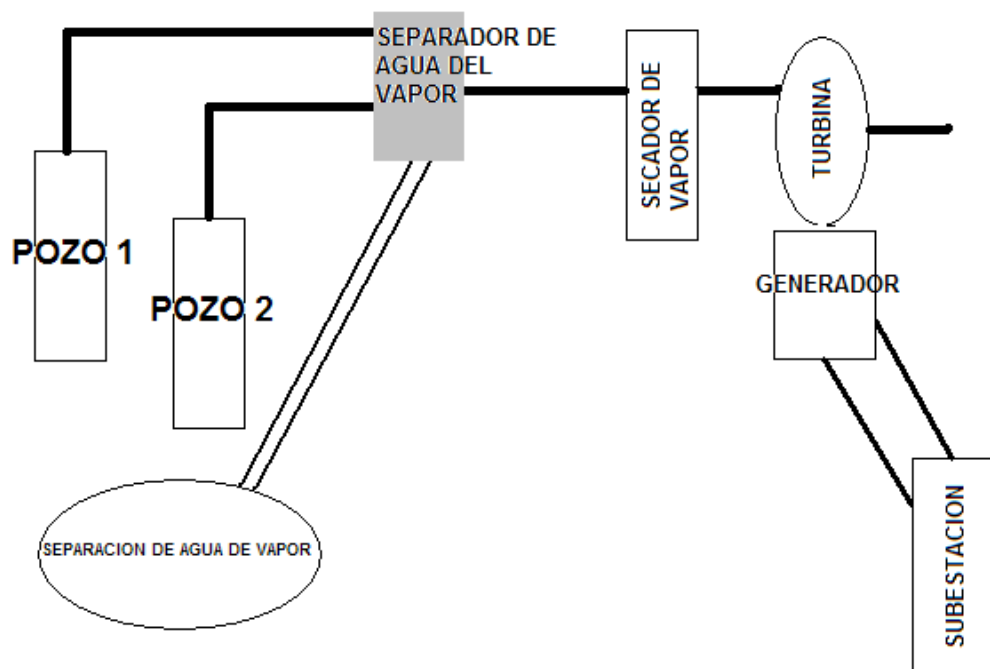
De acuerdo al estado actual del motor y su criticidad en la operación de la planta es necesario tener un respaldo en bodega para disminuir el tiempo de reemplazo al momento que fallara el que esta instalado.

## GENERALIDADES

La Geotermica San Jose Calderas 5 MW esta ubicada a 1600 metros sobre el nivel del mar (SNM)., en el pueblo del mismo nombre en las faldas del volcan Pacaya, en las ribera de la laguna de calderas.

A continuación en la figura 1, se describe el proceso de generación de energía con vapor en la geotérmica San Jose Calderas.

**Figura 1.** Diagrama del proceso de Generación de Energía con vapor proveniente de la tierra.



En la figura anterior se observa que el vapor es extraído de la tierra por medio de pozos los cuales se encuentran a una profundidad estimada de 1800 metros. Esta planta genera 5 MW.

Brevemente se explicara que el vapor es extraído de la tierra por medio de pozos, siendo conducido por tuberías hacia el separador de agua y vapor, posteriormente es conducido hacia el secador cuyo objetivo final es que el vapor ingrese lo mas seco posible a la turbina, dicho vapor al expandirse genera trabajo al eje de la misma que esta conectado al generador. Esta planta no tiene separador de impurezas del vapor (como azufre).

La cantidad saturación de agua del vapor es mucha ya que a veces se tiene que bajar la potencia a la mitad para poder evacuar la cantidad de agua que se almacena en la pileta y es allí donde radica la importancia que tiene la bomba de evacuación (motor eléctrico del cual es objeto del presente estudio).

\* **Características del motor:** a continuación se describen las características del motor de la caldera, siendo estos:

- Motor eléctrico de 150 hp.
- Voltaje 440 volts
- 168 Amp.
- Trifásico
- Diámetro menor del eje : 80 mm
- Diámetro en baleros : 100 mm
- Diámetro mayor : 140 mm
- Diámetro del rotor : 400 mm
- Largo del eje : 1200 mm

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Sistema de reinyeccion de condensado del pozo numero 2 de la planta San Jose Calderas, esta compuesta por una bomba centrifuga y un motor eléctrico de 150 HP. Este motor debido a que la planta no tiene separador de impurezas de vapor como azufre y otros contaminantes sumandolo tambien el tiempo de vida de operación ha sufrido un desgaste adhesivo dejandolo inoperante por lo que fue necesario evaluar la recuperación de dicha pieza en contra posición con uno nuevo o usado. Cabe mencionar que en nuestro medio no existe este tipo de equipo, su costo de recambio y el tiempo de suministro son elevados lo cual, justifica su recuperación.

El presente proyecto se llevara a cabo en el motor eléctrico de 150 HP de la bomba centrifuga de reinyección de condensado del pozo numero 2 de la Geotermica de 5 MW de San José Calderas ubicada a 1600 metros sobre el nivel mar, (SMN) en el pueblo del mismo nombre en las faldas del volcan Pacaya, la cual comprendera un período de tres meses.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Recuperar equipo crítico (eje de motor de 150 Hp), para evitar pérdidas económicas en la planta geotérmica San José Calderas.

### **Específicos**

- a. Identificar las causas que influyeron en el eje del motor de 150 HP de la bomba centrífuga de evacuación de condensado. Reemplazar el motor por uno nuevo.
- b. Determinar el procedimiento más adecuado y seguro para recuperar el eje de dicho motor.
- c. Evaluar las nuevas características del motor recuperado.
- d. Realizar una comparación del costo de un motor nuevo contra uno reparado.
- e. Analizar la eficiencia del motor reparado vs. Su ficha técnica de fábrica.

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

La recuperación de piezas es un tema importante en países como el nuestro debido que no existen medios rápidos y económicos de suministros de repuestos, por lo que es necesario conocer, aspectos que nos ayuden a poder tomar la decisión de recuperar o cambiar piezas, tal es el caso de este motor cuyo costo de recambio es elevado y el tiempo de suministro alcanzaría meses provocando que la planta permaneciera parada durante dicho período lo cual generaría grandes pérdidas al ente generador.

Este proyecto es una aplicación de la recuperación de un equipo crítico dentro de un proceso de producción, de donde el conocimiento de los factores que influyen en este tipo de toma de decisiones, es determinante para obtener los resultados esperados.

## **INTRODUCCIÓN**

La recuperación de piezas es un tema importante dentro del mantenimiento, pues muchas veces la carencia de los medios, nos hace recurrir a este tipo de prácticas. Es necesario conocer, varios aspectos que nos ayudan a poder tomar decisiones de recuperar o cambiar piezas, y este es el objetivo principal de este trabajo. Este proyecto es una aplicación de la recuperación de un equipo crítico dentro de un proceso de producción, de donde el conocimiento de los factores que influyen en este tipo de toma de decisiones, es determinante para obtener los resultados esperados.



## **1. MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1. Método de Investigación**

Por la razón del estudio que se efectuará se considera que será del tipo descriptivo y los métodos a utilizar serán:

#### **1.1.1. Método Inductivo**

En este método se partira de lo macro a lo micro, es decir veremos las diferentes formas de poder solucionar el problema desde la forma mas sencilla como lo es la compra de un equipo nuevo hasta la reparación del mismo.

#### **1.1.2. Método Analítico**

Se haran análisis tanto de laboratorio como financieros para verificar cual opción es la idonea para este caso específico.

### **1.2. Técnicas de Investigacion a Utilizar**

Las técnicas de investigación a utilizar serán:

1.2.1. Entrevistas con el personal de operación y mantenimiento de la planta.

1.2.2. Manuales de operación y mantenimiento existentes sobre los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo.

1.2.3. Observación directa del estado del equipo.

1.2.4. Investigación sobre eficiencias de motor.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Aspectos Del Proceso De Reacondicionamiento De Motores**

Alrededor del 70% del consumo de la energía eléctrica generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos. Incontables ejemplos de su aplicación, se tienen en la industria, el comercio, los servicios y el hogar.

Es significativo el hecho de que los motores eléctricos, suministran en su mayor parte, la energía que mueve los accionamientos industriales, por lo que la operación y conservación de los motores en la industria, representa uno de los campos más fértiles de oportunidades en el ahorro de energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

El ahorro de energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades que se tienen, tanto en lo que respecta a su tipo por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de velocidad, así como por su tamaño o potencia. Los mayores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima eficiencia.

## 2.2. ¿Qué es la eficiencia en un motor?

Figura No. 1

### Motor de Inducción

**DEFINICIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN:** Máquina eléctrica que convierte energía eléctrica en energía mecánica

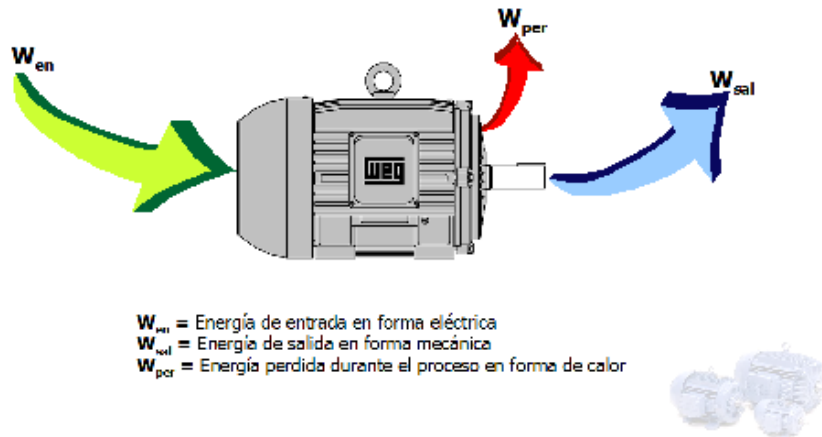


Tabla I

### Definición de Eficiencia

#### **DEFINICION DE EFICIENCIA**

**Eficiencia = Potencia de salida / Potencia de entrada**

**Potencia de entrada = Potencia de salida + Pérdidas**

**Eficiencia = Potencia de salida / ( Potencia de salida + Pérdidas )**

$$\eta = P_{sal} / ( P_{sal} + P_{erd} )$$

**De esta definición se deduce que las pérdidas y la eficiencia tienen una relación inversa.**

La eficiencia o rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en porciento de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica, esto es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia eléctrica}} \times 100$$

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En el proceso de conversión, se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o este tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar con mucho las de diseño, con la consecuente disminución de la eficiencia.

Para calcular la eficiencia, las unidades de las potencias deben ser iguales. Como la potencia eléctrica se expresa usualmente en kilowatts (kW) en tanto que la potencia mecánica en caballos de potencia (CP o HP), las siguientes equivalencias son útiles para la conversión de unidades:

$$\begin{aligned} 1 \text{ CP} &= \mathbf{0.746 \text{ kW}} \\ 1 \text{ Kw} &= \mathbf{1.34 \text{ CP}} \end{aligned}$$

Si un motor de 100 CP toma de la línea 87.76 kW:

$$\begin{aligned} \text{Potencia mecánica} &= 100 \times 0.746 \\ &= \mathbf{74.6 \text{ kW}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= \frac{74.6}{87.76} \times 100 \\ &= \mathbf{85\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas} &= 87.76 - 74.6 \\ &= \mathbf{13.16 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Esto es el motor convierte el 85% de su energía eléctrica en mecánica, perdiendo el 15% en el proceso de conversión. En términos prácticos, se consume (y se paga) inútilmente la energía utilizada para hacer funcionar al motor.

Emplear motores de mayor eficiencia, reduce las pérdidas y los costos de operación. Por ejemplo si el motor anterior se sustituyera por otro con una eficiencia del 90%, la potencia ahorrada (PA) se puede calcular aplicando la siguiente ecuación:

$$PA \text{ (kW)} = 0.746 \times CP \left( \frac{100}{E_1} - \frac{100}{E_2} \right)$$

Donde:

0.746 = Factor de conversión de CP a kW

CP = Caballos de potencia

E<sub>1</sub> = Eficiencia del motor de rendimiento menor

E<sub>2</sub> = Eficiencia del motor de rendimiento mayor

$$PA = 0.746 \times 100 \left( \frac{100}{85} - \frac{100}{90} \right) \text{ kW} = 4.87 \text{ kW}$$

Suponga que ambos motores Trabajarán 12 horas diarias, 5 días de la semana y 50 semanas por año, que equivalen a 3000 horas al año. La energía ahorrada anualmente equivale a:

$$3000 \text{ horas} \times 4.87 = 4,610 \text{ kWh}$$

Como ejercicio multiplíquese esta cantidad de kWh por el costo de la tarifa que corresponda al servicio que usted tenga y obtendrá el ahorro monetario por utilizar el motor de mayor eficiencia, sin tomar en cuenta el costo por demanda de potencia. Un motor bien diseñado puede tener un precio de compra elevado,

pero generalmente tendrá una mayor eficiencia que el de motores de procedencia ignorada.

Los incrementos que han experimentado el costo de los energéticos a nivel mundial, han orientado a los fabricantes de motores a lograr principalmente motores de alta eficiencia, con rendimientos de hasta un 96% y cuyo costo adicional sobre los convencionales se puede pagar rápidamente con los ahorros que se tienen en el consumo. Vale la pena considerar su utilización.

La reparación inadecuada de un motor puede ocasionar un incremento en las pérdidas y adicionalmente en los motores de corriente alterna, la reducción del factor de potencia. Todo esto conduce a una disminución de su eficiencia.

## Tabla II

### Clasificación de Pérdidas de corriente

#### **Las pérdidas en el motor se clasifican en:**

- |                      |   |
|----------------------|---|
| <b>1. FIJAS:</b>     | <b>No dependen del punto de carga de operación del motor.</b> |
| <b>2. VARIABLES:</b> | <b>Si dependen del punto de carga de operación del motor.</b> |

#### **Las pérdidas en el motor se clasifican en:**

- |                      |  |
|----------------------|--|
| <b>1. FIJAS:</b>     | <b>1.1. Pérdidas mecánicas:</b> - Fricción<br>- Ventilación<br><b>1.2. Pérdidas magnéticas:</b> - Histéresis<br>- Corrientes Parásitas |
| <b>2. VARIABLES:</b> | <b>2.1. Pérdidas en el estator</b><br><b>2.2. Pérdidas en el rotor</b><br><b>2.3. Pérdidas indeterminadas</b>                          |

Pérdidas mecánicas	0,33 kW	7,97 %
Pérdidas núcleo	0,74 kW	17,87 %
Pérdidas en estator	1,29 kW	31,16 %
Pérdidas en rotor	1,41 kW	34,06 %
Pérdidas indeterminadas	0,37 kW	8,94%
<b>Total</b>	<b>4,14 kW</b>	<b>100,0 %</b>

\*De pruebas de laboratorio

**% DE PERDIDAS\* TÍPICAS EN UN MOTOR DE 100HP  
4 POLOS EFICIENCIA ALTA, TOTALMENTE CERRADO**

Potencia de salida	74,60 kW
Total de pérdidas	4,14 kW

$$\text{Eficiencia} = ( 74,60 / ( 74,60 + 4,14 ) ) ( 100 ) = 94,74 \%$$

$\eta = 94,74 \%$
-------------------

**PORCENTAJES TÍPICOS DE PERDIDAS EN LA  
LITERATURA ESPECIALIZADA**

Tipo de pérdida	Prueba (1999)	Docto 1 (1995)	Docto2 (1994)
Pérdidas mecánicas	7,97 %	6,72 %	24 %
Pérdidas núcleo	17,87 %	25,37 %	29 %
Pérdidas en estator	31,16 %	47,26 %	20 %
Pérdidas en rotor	34,06 %	18,66 %	21 %
Pérdidas indeterminadas	8,94 %	1,99 %	6 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>



	POTENCIA		Polos		
	kW	HP	2	4	6
			nom	nom	nom
	0,746	1,0	75,5	82,5	80,0
	1,1	1,5	82,5	84,0	85,5
	1,5	2,0	84,0	84,0	86,5
	2,2	3,0	85,5	87,5	87,5
	3,7	5,0	87,5	87,5	87,5
	5,6	7,5	88,5	89,5	89,5
	7,5	10	89,5	89,5	89,5
	11,2	15	90,2	91,0	90,2
	15	20	90,2	91,0	90,2
	18,6	25	91,0	92,4	91,7
	22	30	91,0	92,4	91,7
	30	40	91,7	93,0	93,0
	37	50	92,4	93,0	93,0
	44	60	93,0	93,6	93,6
	55	75	93,0	94,1	93,6
	75	100	93,6	94,5	94,1
	93	125	94,5	94,5	94,1
	111	150	94,5	95,0	95,0
	150	200	95,0	95,0	95,0

Tabla de eficiencias  
para motores TCCVE  
de la NOM-016-2002

### **DETERMINACION DE LA EFICIENCIA** **(Método de prueba)**

#### **1. Para motores trifásicos:**

NOM-016-ENER-2002; Eficiencia energética de motores de corriente alterna trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, de uso general en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, métodos de prueba y marcado.

Publicada en el DOF el 13/ene/03  
En vigor desde abr/03

#### **2. Para motores monofásicos:**

NOM-014-ENER-1997; Eficiencia energética de motores de corriente alterna monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, de uso general en potencia nominal de 0,180 a 1,500 kW. Límites, métodos de prueba y marcado.

### **DETERMINACION DE LA EFICIENCIA** **(Método de prueba)**

Pasos en la prueba de eficiencia energética:

- a. Medición de resistencia en frío
- b. Prueba de estabilidad térmica
- c. Determinación de incremento de temperatura
- d. Prueba a diferentes cargas ( 150% - 25% )
- e. Determinación de corrección de dinamómetro
- f. Prueba sin carga a diferentes tensiones ( 150% - 50% )

Otras pruebas desarrolladas en el laboratorio:

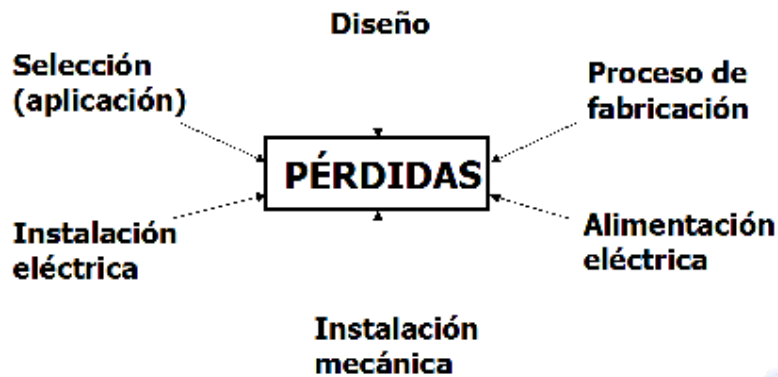
- g. Prueba a rotor bloqueado y tensión reducida
- h. Prueba de arranque a tensión plena
- i. Curva de par-corriente v.s. deslizamiento (velocidad)
- j. Vibración
- k. Medición de ruido

## **DETERMINACION DE LA EFICIENCIA** **(Método de prueba)**

Documentos internacionales:

1. IEEE STD 112-2001, Standard test procedure for polyphase induction motors and generators
2. ANSI/IEEE STD 114-1982, Test procedure for single-phase induction motors
3. CSA 390-98, Energy Efficiency test methods for three-phase induction motors
4. NEMA MG-1/2003, Part 12, Motors and Generators

### **FACTORES QUE INFLUYEN EN EL NIVEL DE PERDIDAS**



### **FACTORES QUE INFLUYEN EN EL NIVEL DE PERDIDAS**

#### **1. DISEÑO:**

- a. **Acero Eléctrico:- Volumen**
  - Permeabilidad magnética
  - Diseño de ranuras
- b. **Bobinados:**
  - Factor de devanado
  - Factor de relleno
- c. **Mecánico:**
  - Rodamientos y lubricación
  - Ventilador
  - Transferencia de calor
  - Disipación térmica

## **2. PROCESO DE FABRICACION:**

- a. Automatización de procesos**
- b. Control de Calidad**
- c. Precisión de maquinados**
- d. Fundición**
- e. Balanceo**
- f. Materia Prima**

## **3. ALIMENTACION ELECTRICA:**

- a. Calidad en la señal**
- b. Tensión**
- c. Frecuencia**

## **4. INSTALACION MECANICA:**

- a. Acoplamientos (ajustes)**
- b. Tensión en bandas**
- c. Sujeción mecánica**
- d. Alineación**
- e. Ventilación**

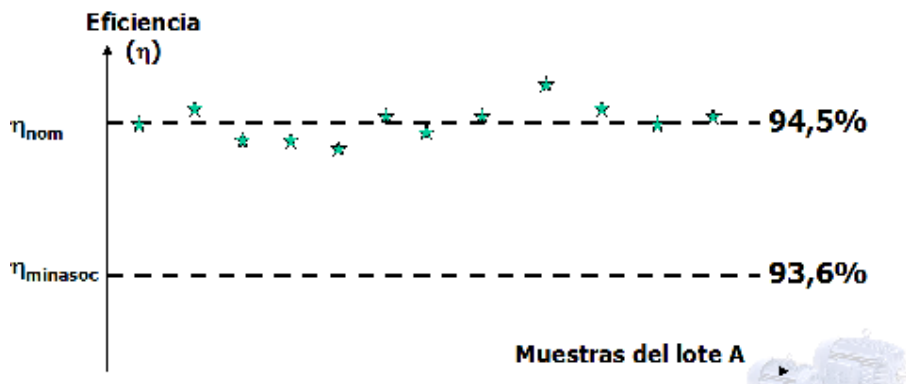
## **5. INSTALACION ELECTRICA:**

- a. Conexión eléctrica**
- b. Tierras**

## 6. SELECCION:

- a. Nivel de carga
- b. Tipo de operación
- c. Temperatura ambiente
- d. Altitud

El promedio de la eficiencia de un lote de producción deberá reportar el valor de eficiencia nominal, y una muestra probada en el laboratorio deberá al menos cumplir con el valor mínimo asociado



### 2.3 Administración de la demanda

Las tarifas eléctricas para la industria, además del cargo por consumo de energía (kWh), hacen un cargo por demanda máxima (kW), que es importante en la facturación. La demanda es registrada por un medidor conforme a la potencia de todos los motores, lámparas y otros aparatos eléctricos, funcionando simultáneamente durante un lapso de 15 minutos.

Evitar el arranque y la operación simultánea de los motores y otros equipos eléctricos sobre todo en el período de punta, lo que se traduce en ahorros significativos en monto de facturación. Por ejemplo

considérese una instalación con una demanda de 700 kW que incluye la potencia de un grupo de motores de 50 CP que toman de la red 41 kW cada uno. Si este grupo de motores pudiera ser operado fuera del período de demanda máxima, el valor de la demanda se reduciría en casi 6%, lo cual representa una sensible reducción en el monto de facturación eléctrica.

Otra opción es la de extender los turnos de trabajo, repartiendo la operación de los motores y otros equipos en más horas de labores, fuera del período de punta.

Los cargos por consumo de energía eléctrica pueden ser prácticamente iguales pero por demanda máxima pueden reducirse de manera importante.

- **Un ejemplo de área de oportunidad**

Como se ha mencionado, los mayores ahorros de energía se obtienen cuando el motor y su carga trabajan a su máxima eficiencia. Un ejemplo que presenta buenas oportunidades de ahorro, se tiene en los equipos de aire comprimido.

Las fugas de aire en uniones de tuberías y mangueras, válvulas de seguridad de los depósitos acumuladores, válvulas de corte (que hacen mal cierre) herramientas neumáticas y otros equipos, representan pérdidas de hasta un 50% en instalaciones descuidadas; constituyen una carga inútil del motor y un desperdicio de energía, que puede reducirse notoriamente, mediante la corrección y sellado sistemático de los puntos de escape.

Es primordial que la potencia del motor acoplado al equipo de compresión de aire corresponda a la potencia requerida por éste. La eficiencia cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Además un motor de inducción sobredimensionado, demandará una mayor potencia reactiva con la consiguiente disminución del factor de potencia.

## **2.4 Recomendaciones generales para el ahorro de energía en motores electricos**

- a. Elegir correctamente la potencia del motor. El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Adicionalmente los motores de inducción a cargas bajas o en vacío tienen un factor de potencia muy bajo.
- b. Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros, ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia. Además de que se puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de la temperatura.
- c. Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto menos costosos, además de operar con mayor factor de potencia. Sin embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados serán los indicados.
- d. Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite prefiera motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de corriente alterna, trabajan con un mejor factor de potencia.
- e. Sustituir los motores antiguos o de uso intenso. Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su

uso han depreciado sus características de operación, pueden justificar su sustitución por motores normalizados y de alta eficiencia.

- f. Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su capítulo referente a motores, y las recomendaciones de los fabricantes son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos.
- g. Utilización de variadores de velocidad que permiten ahorro en el arranque (demanda) y ahorro en consumo si se tiene el lazo de control adecuado.

## **2.5 Factores de Instalación de Motores Eléctricos**

La instalación deberá hacerse en conformidad con el Código Eléctrico Nacional así como con códigos y métodos locales. Cuando se acoplen otros dispositivos al eje del motor, asegúrese de instalar dispositivos de protección para evitar futuros accidentes. Algunos dispositivos de protección son los acoplamientos, las guardacorreas, guardacadenas, tapas de eje, etc. Los mismos protegen contra el contacto accidental con piezas en movimiento. La maquinaria accesible al personal deberá contar con protección adicional, como ser barandillas de guarda, pantallas, carteles de advertencia, etc.

### **2.5.1 Código Nacional Eléctrico**

Las prácticas de cableado, los interruptores con conexión a tierra, selección de un arrancador y la protección contra la corriente excesiva tienen particular importancia, por lo que se sugiere que el usuario vele por el cumplimiento de las normatividad del Código Nacional Eléctrico y de cualquier otro Código Local aplicable.

### **2.5.2 Ubicación**

El motor deberá instalarse en un ambiente para el cual fue diseñado: exposición directa al sol, sustancias corrosivas, líquidos o gases nocivos, polvo, a las partículas metálicas y a la vibración. La exposición de los mismos en ambientes para los cuales no fueron diseñados, puede reducir la vida útil y degradar el rendimiento del motor. Cerciorase de dejar espacio suficiente para ventilación y acceso para la limpieza, reparación, servicio e inspecciones. La ventilación es extremadamente importante. Asegúrese que el área de ventilación no se encuentre obstruida. Las obstrucciones limitan el paso libre del aire. Los motores se calientan y es preciso disipar el calor para evitar daños.

### **2.5.3 Montaje**

El motor deberá instalarse asegurándolo bien a una superficie de montaje o cimientos rígidos, de modo de minimizar la vibración y mantener el alineamiento entre el motor y la carga del eje. De no utilizarse una superficie de montaje adecuada, pueden experimentarse vibraciones, desalineamiento y daños a los cojinetes.

### **2. 5.4 Alineamiento**

El alineamiento correcto del motor con el equipo accionado es de suma importancia.



a) *Acoplamiento directo*

Para el accionamiento directo, use de ser posible acoplamiento flexible. Si requiere más información, consulte al fabricante del equipo. La vibración mecánica y el funcionamiento abrupto pueden indicar un alineamiento incorrecto. Utilice instrumentos indicadores tipo cuadrante para chequear el alineamiento. El espacio entre los cubos del acoplamiento deberá mantenerse al nivel recomendado por el fabricante del acoplamiento.

b) *Ajuste del juego axial*

La posición axial del bastidor del motor con respecto a su carga es también muy importante. Los cojinetes del motor no están diseñados para cargas con excesivo empuje axial externo. El ajuste incorrecto resultará en fallas.

c) *Relación de poleas*

Verificar que la relación de poleas sean las especificadas por el fabricante.

d) *Accionamiento por correa*

Alinee cuidadosamente las poleas de manera de minimizar el desgaste de la correa y las cargas de cojinetes axiales. La tensión de la correa deberá ser la necesaria para impedir el deslizamiento de la correa bajo velocidad y carga nominal. Pero durante el arranque pueden producirse deslizamientos de la correa. ¡CUIDADO!: No sobreensione las correas.

e) *Cargas acopladas*

Los motores con cojinetes de manguito (camisa) son adecuados únicamente para cargas acopladas.

- Colocación de clavijas y pernos

Luego de verificar que el alineamiento es apropiado, deberán insertarse clavijas [espigas] a través de las patas del motor hasta los cimientos. De este modo se mantendrá la posición correcta del motor si se hace necesario sacarlo. Algunos motores están diseñados para enclavijamiento.

1. *Perfore agujeros para clavijas en patas diagonalmente opuestas del motor, en los lugares provistos.*

2. *Perfore en los cimientos los agujeros correspondientes.*

3. *Escarie todos los agujeros.*

4. *Instale clavijas de tamaño apropiado.*

5. *Los pernos de montaje deberán apretarse cuidadosamente para evitar cambios en el alineamiento. Use una arandela plana y una arandela de seguridad bajo cada tuerca o cabeza de perno para mantener bien aseguradas las patas del motor. Como alternativa a las arandelas se pueden usar pernos o tuercas con reborde.*

- Conexión de la alimentación

El cableado del motor y del control, la protección contra sobrecarga, los seccionadores, los accesorios y las conexiones a tierra deberán cumplir con lo especificado en

el Código Eléctrico Nacional y los códigos y métodos locales.

- Caja de conexión

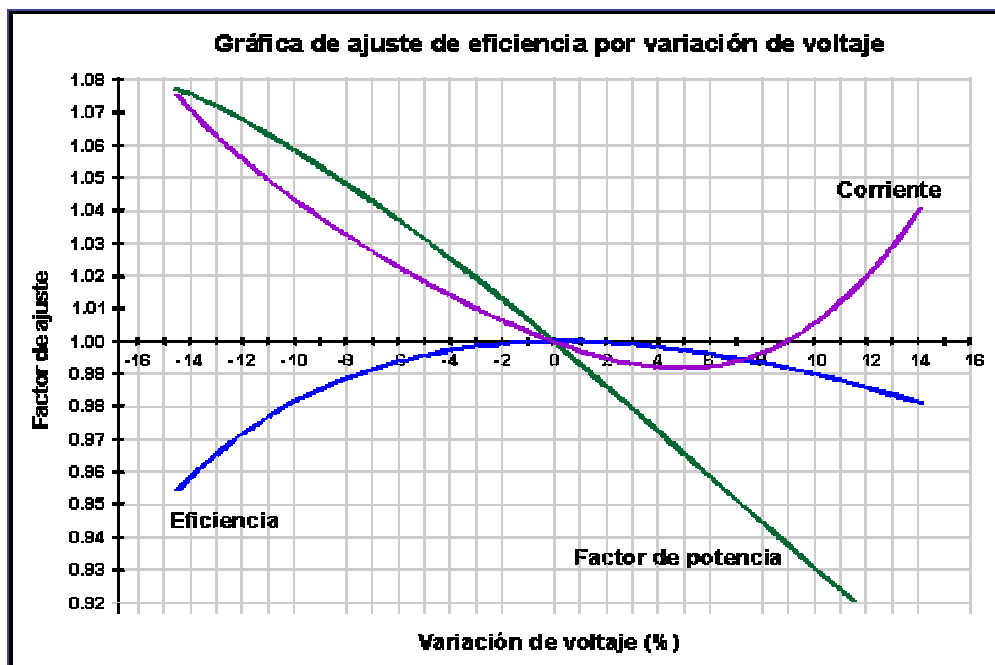
Algunos fabricantes suministran un caja para facilitar las conexiones del equipo, e incluso en estas cajas se pueden colocar accesorios adicionales detectores de temperatura por resistencia (RTD's), etc.

- Alimentación de CA

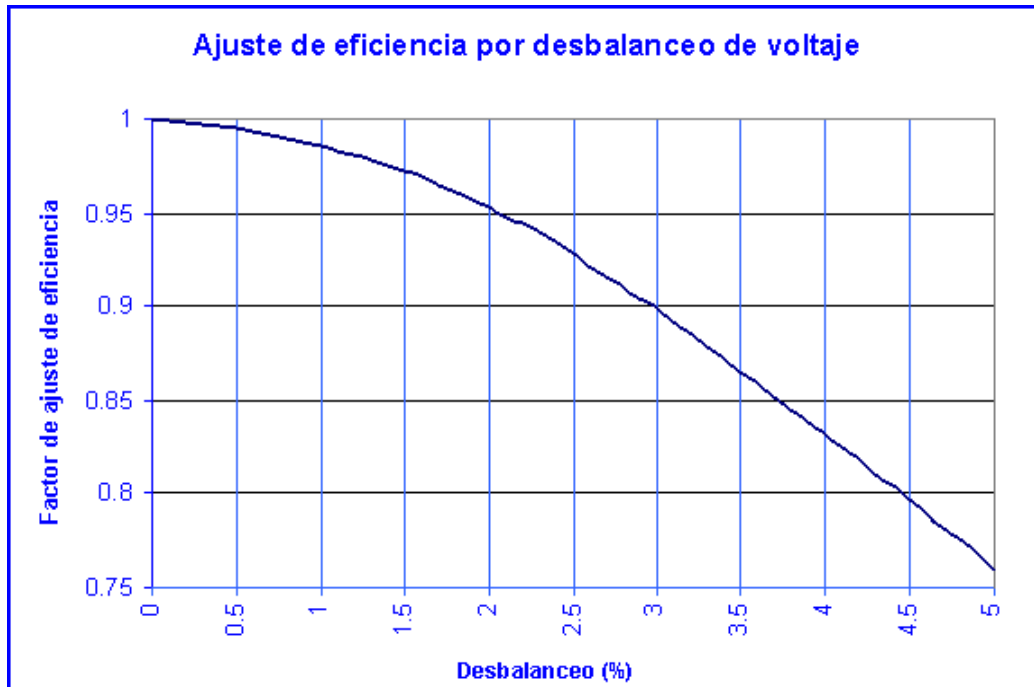
La conexión del motor a la toma de corriente debe ser tal y como lo indica el fabricante del equipo en el diagrama de conexiones, generalmente ubicado en la placa de fábrica o en la parte interior de la tapa en la caja de conexión.

Se sugiere analizar las gráficas que proporcionan los fabricantes en relación al ajuste de eficiencia por variación del voltaje, desbalanceo de fases con el fin de que la alimentación de energía no afecte gravemente la eficiencia del motor (véase gráfica 1 y 2).

Gráfica 1. Gráfica de ajuste de  
eficiencia por variación de voltaje.



Gráfica 2. Ajuste de eficiencia  
por desbalanceo de voltaje.



- Conexión a tierra

Se recomienda conectar a tierra los motores para limitar su potencial a tierra en caso de conexión o contacto accidental entre las partes eléctricas energizadas y las partes exteriores metálicas. Consultar el Código Nacional Eléctrico, normas IEEE, ANSI, NFPA y/o Códigos Locales.

Al efectuar la conexión a tierra, el instalador debe asegurarse que exista una firme conexión metálica y permanente entre el punto de conexión a tierra y el motor o la caja de terminales del motor. No se debe usar conexiones externas a tierra en motores ubicados en entornos peligrosos.

Existen aplicaciones donde la conexión a tierra de las partes externas de un motor puede resultar en mayor riesgo al aumentar la probabilidad de que una persona en el área pueda hacer contacto simultáneo con la conexión a tierra y con alguna otra parte eléctrica energizada de otro equipo eléctrico sin conexión a tierra. En equipos portátiles es difícil asegurar que se mantiene la conexión positiva a tierra al trasladar el equipo, y la instalación de un conductor a tierra puede llevar a un falso sentido de seguridad.

Cuando la consideración cuidadosa de los riesgos involucrados en una aplicación particular indique que los bastidores de la máquina no se deban conectar a tierra o cuando las condiciones inusuales de funcionamiento dicten que no se puede usar un bastidor conectado a tierra, el instalador debe asegurarse que la máquina esté permanente y eficazmente aislada de tierra. En aquellas instalaciones donde el bastidor de la máquina esté aislado de tierra, se recomienda que el instalador coloque etiquetas o letreros apropiados de advertencia en el área del equipo.

- Arranque

El rotor debe poder girar libremente al girar a mano el eje. El motor debe funcionar uniformemente sin mucho ruido. Si el motor no arranca y produce un zumbido muy marcado, quizá la carga sea demasiado grande para el motor o quizá se haya conectado erróneamente. Apague inmediatamente el motor e investigue el problema.

Haga funcionar el motor bajo carga normal durante un período inicial para verificar que no haya ruidos inusuales, calentamiento o corriente excesivos. Para invertir la dirección de giro, intercambie cualesquiera dos de los conductores de alimentación eléctrica.

El usuario deberá seleccionar un arrancador de motor y protección contra sobrecorriente adecuados para este motor y su aplicación. Se sugiere consultar los datos de aplicación del arrancador del motor y el Código Nacional Eléctrico o los códigos locales aplicables.

- Calentamiento

El régimen de servicio y la máxima temperatura ambiente se indican generalmente en la placa de fábrica del motor. El exceso de calentamiento del motor disminuye la eficiencia del mismo.

## 2.6 Inspección general

Revisar el motor cada 500 horas de operación o cada 3 meses, lo que ocurra primero. Mantener el motor limpio y las aberturas para ventilación despejadas.

En cada inspección deberán efectuarse los siguientes pasos:

- a) *Verifique si el interior y exterior del motor se encuentran libres de suciedad, aceite, grasa, agua, etc. Puede haber acumulación de pulpa de papel, pelusas textiles, vapores aceitosos, etc., que bloquea la ventilación del motor. Si el motor no está debidamente ventilado, puede haber recalentamiento y provocar la falla prematura del motor.*
- b) *Use periódicamente un “Megger” (megóhmetro) para asegurar que se haya mantenido la integridad del aislamiento en los devanados.*
- c) *Revisar todos los conectores eléctricos para asegurar que estén bien apretados.*

- *Lubricación y cojinetes*

La grasa de los cojinetes pierde su capacidad de lubricación a través del tiempo, o en forma repentina. La capacidad de lubricación de la grasa depende fundamentalmente del tipo de grasa, tamaño del cojinete, velocidad a la que funciona el cojinete y el rigor de las condiciones de operación.

Siguiendo las recomendaciones que se proporcionan a continuación, podrá obtener buenos resultados en su programa de mantenimiento.



- Tipo de grasa e intervalos de lubricación

Consultar el tipo de grasa que recomienda el fabricante para no rebasar la temperatura máxima de operación de los motores, asimismo, los intervalos de lubricación especificados de acuerdo a la velocidad de operación, tipo de cojinetes, rodillos o de bolas y condiciones de servicio como temperatura ambiente, contaminación atmosférica, etc., a la que es sometido dicho motor.

- Procedimiento de lubricación

Asegúrese que la grasa que está añadiendo al motor es compatible con la grasa que hay en el mismo.

*a) Con tapón de salida de grasa*

- Limpie todos los accesorios de engrase.
- Saque el tapón de salida de grasa.
- Si el motor está parado, añada la cantidad de grasa que se recomienda.
- Si el motor será engrasado mientras está en funcionamiento, deberá añadirse una cantidad ligeramente mayor de grasa. Añada la grasa lentamente hasta que aparezca la nueva grasa en el orificio del eje en la placa de fondo o el tapón de purgado.
- Vuelva a colocar el tapón de salida de grasa.

*b) Sin Tapón de salida de grasa*

- Limpie todos los accesorios de engrase.
- Añada la cantidad de grasa que recomienda el fabricante.

### **2.6.1 Accesorios**

A continuación se mencionan algunos accesorios que se pueden instalar en motores de reciente tecnología que permiten mejorar o proteger la operación adecuada del motor.

- RTD y termopares para cojinetes

Utilizados para medir o monitorear la temperatura del cojinete del motor durante su operación.

- Termostato del cojinete

Dispositivo térmico que se activa cuando las temperaturas del cojinete son excesivas. Se utilizan con un circuito externo para dar advertencia de temperatura excesiva del cojinete o para parar un motor.

- Cajas de conexión

Hay cajas opcionales de conexión de varios tamaños para acomodar dispositivos accesorios.

- Conjunto de cordón y enchufe

Cordón de alimentación y enchufe para utilizar en aplicaciones portátiles.

- Vaciadores y respiraderos

Se dispone de vaciadores de acero inoxidable con respiraderos por separado.

- Tapas de goteo

Diseñadas para usarse cuando el motor está montado en posición vertical.

- Tapa de ventilador y filtro de pelusas

Se utilizan para evitar la acumulación de desechos en el ventilador de enfriamiento.

- Placa de fábrica

Se dispone de placas de fábrica de acero inoxidable adicionales.

- Cojinetes de rodillos

Recomendables para las aplicaciones de accionamiento por correa con velocidad de 1800 r.p.m. o menos.

- Etiquetas de flechas de rotación

Las flechas de rotación se suministran en los motores diseñados para operar en una sola dirección.

- Calentador unitario

Se instalan para evitar la condensación de humedad dentro de la caja del motor durante períodos de inactividad o almacenamiento.

- Herrajes de acero inoxidable

Se dispone de herrajes de acero inoxidable. Los herrajes estándar son de acero zincado resistente a la corrosión.

- RTD y termopares para devanados

Utilizados para medir o monitorear la temperatura del devanado del motor durante su operación.

- Termostato del devanado

Dispositivo térmico que se activa cuando las temperaturas del devanado son excesivas. Se utiliza con un circuito externo para dar advertencia de temperatura excesiva del devanado o para parar un motor.

## 2.7 Posibles Causas Y Sintomas de un motor en mal funcionamiento

Tabla III Causas y sintomas  
De un motor en mal funcionamiento

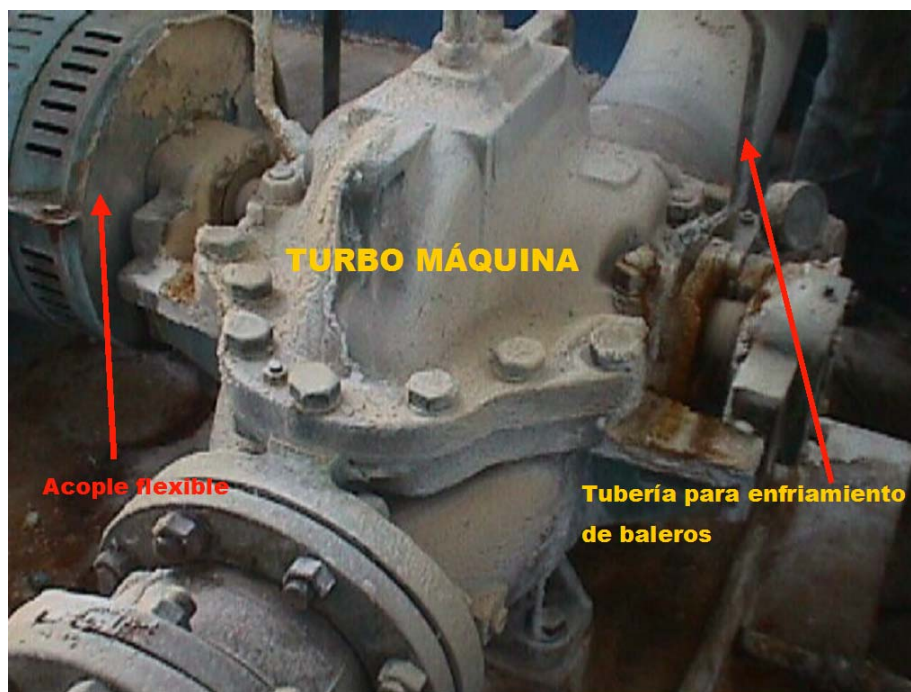
Síntoma	Posibles causas	Posibles soluciones
<b>El motor no arranca</b>	Causado usualmente por problemas en la línea, por ejemplo el funcionamiento con una sola fase en el arrancador.	Revise la fuente de alimentación: protectores de sobrecarga, fusibles, controles, etc.
<b>Zumbido excesivo</b>	Alto voltaje.	Revise las conexiones de la línea de entrada.
	Entrehierro excéntrico (descentrado).	Haga reparar el motor en el centro de servicio recomendado por el fabricante

### 3. EVALUACIÓN ACTUAL DEL MOTOR

#### 3.1 Caracterización del sistema

La Turbomáquina acoplada es una maquina que trabaja con el motor dañado o que esta en mal funcionamiento. En la figura 2 se observa la turbomáquina. Bomba centrífuga de reinyección de condensado al pozo # 2.

Figura 2. Turbomáquina dañada por falta del motor.



**Figura 3. Motor Eléctrico Dañado**



### **3.2 Criticidad del Equipo**

La criticidad del equipo del sistema de reinyección de agua condensada al pozo número 2

### **3.3 Implicación en la Eficiencia del Proceso**

Al presentarse un paro en el equipo de re-inyección, el proceso de generación eléctrica baja a operar a un 50%

### 3.4. Problemática Presentada por el Rotor del Motor Eléctrico.

Como se observa en la figura siguiente el motor sufrió desgaste adhesivo, en la ubicación de las cunas de los baleros, debido al desgaste adhesivo causado por los componenetes del agua sulfurada que al evaporarse llegan al ambiente.

Figura 4. Desgaste Adhesivo



### 3.5 Deficiencia de Reparaciones Anteriores al Eje del Motor

El trabajo se subcontrató para metalizar el área afectada. De donde el proveedor nunca tomó en consideración las deformaciones inducidas por la acción de la soldadura.

El trabajo de recuperación fue defectuoso, dejando inservible el rotor. Se encontro que el rotor tiene desalineamiento de 0.070" en ambos extremos.

Figura 5. Deformacion del Rotor



A continuación se muestran los efectos negativos de un desalineamiento en este caso del motor de las calderas de San Jose Calderas.

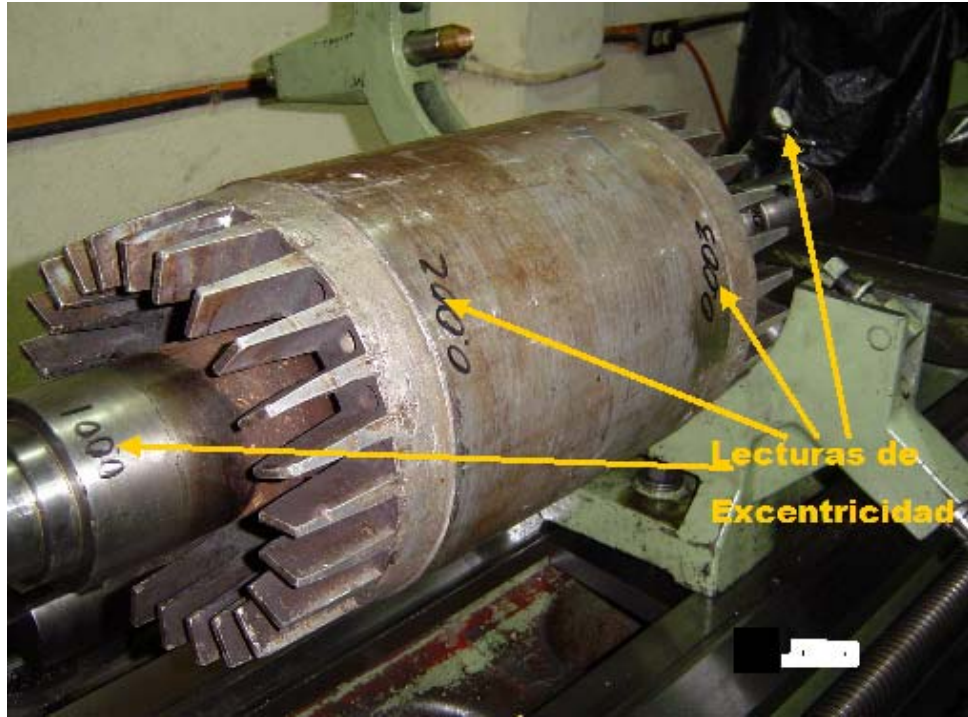


Figura 6. Efectos negativos de un desalineamiento



El desalineamiento es la mayor causa de daños en la maquinaria

Figura 7. Lecturas de Excentricidad



### 3.6 Propuestas y toma de desiciones para el funcionamiento del Motor del pozo 2 de la geotérmica de San José Calderas, Guatemala.

Al estudiar y analizar las posibles soluciones del motor del pozo 2 de la geotérmica se plantean opciones las cuales se describen a continuación.

#### 3.6.1 COMPRAR VRS REPARAR

Los siguientes factores pueden ayudar a determinar si es preferible reparar la máquina antigua, pagada del todo, o reemplazarla por una máquina más reciente.

### 3.6.2 Valor de reventa

Se inicia el proceso de evaluación obteniendo una propuesta de cuánto le darían si entregara la máquina usada como parte del pago por una nueva. • **Costos de reparación.** Se necesita una propuesta del precio de la reparación incluyendo mano de obra y piezas de repuesto. La edad de la máquina puede afectar el costo de la mano de obra. El mantenimiento de las máquinas más viejas puede ser más complicado y puede necesitar más horas de trabajo porque es posible que los componentes clave no sean tan accesibles como en los modelos más recientes. • **Tiempo muerto estimado.** Pregunte cuánto tiempo tardarán las reparaciones. La disponibilidad de piezas de repuesto determinará la rapidez con la que el taller puede reparar y devolver la máquina. Demoras largas por falta de piezas pueden causar retrasos en sus programas de trabajo.

### 3.7 Alternativas de Solución

1. Reemplazar el motor por uno nuevo
2. Recuperar el rotor, dando tiempo a iniciar el trámite de compra de un motor nuevo.
3. Reemplazar el motor por uno usado.

### 3.8 Análisis Económico

Siguiendo con el orden del análisis podemos observar:

- El valor de reventa de este equipo es nula por el tiempo de uso y el equipo inservible.
- Los costos de la reparación son insignificantes con relación al costo de inversión de uno nuevo.

- El tiempo muerto estimado de reparación es de aproximadamente 3 días, pues la reparación necesita solo repuestos y equipos que se encuentran a nivel local.
- Tabla IV      Análisis económico de recuperación del motor

	<b>Recuperación</b>	<b>Motor Usado</b>	<b>Motor Nuevo</b>
Tiempo de entrega	3 días	15 – 20 días	15- 20 días
Precio	Q 3,000.00	Q 43,000.00	Q 75,000.00
Calidad	Buena	Buena	Buena
Garantía	Nula	3 meses	1 año

De donde el porcentaje de la reparación es de 0.04% del valor de un equipo nuevo, y no comparado con el valor del proceso.

Según datos recabados esta planta tiene una utilidad mensual de Q2,000,000.00 (30 días), de donde la pérdida por día no trabajado es de Q 66,666,67, tomando en cuenta que al no trabajar el motor en cuestión, la carga se reduce al 50% tenemos una pérdida diaria de Q 33,333.33, por lo que la importancia del motor es crítica.

Por lo anteriormente descrito se optó por la recuperación de la pieza, con la salvedad que la misma era solo provisional en lo que se reemplazaba el Motor. Según datos recabados esta planta tiene una utilidad mensual de Q2,000,000.00 (30 días), de donde la pérdida por día no trabajado es de Q 66,666,67, tomando en cuenta que al no trabajar el motor en cuestión, la carga se reduce al 50% tenemos una pérdida diaria de Q 33,333.33, por lo que la importancia del motor es crítica.

### 3.9 Recuperación Del Rotor

- Material Base del eje es un Acero AISI 1040 o SAE 1040. Este es un acero al 0,40 % de carbono sirve para construcción de maquinaria sus principales propiedades químicas son:

Tabla V Propiedades Químicas de acero 0.40%

C	Si	Mn	Cr	Temple °C	Forjado °C	Recocido °C	Temple en
0,4	0,25	0,75		845 a 900	1240 a 870	700 a 845	Agua, Aceite

Nº o AISI	SAE	Resistencia a la tracción		Límite de fluencia		Alargamiento en 50 mm	Dureza Brinell
		Rm	Re				
		Kgf mm²	/ Mpa	Kgf/mm²	Mpa	%	
1010		40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015		42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020		45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025		50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030		56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035		59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040		63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045		68,7	673,7	42,2	413,8	23	215

1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229
1055	78,5	769,8	45,8	449,1	19	235
1060	83,1	814,9	49,3	483,5	17	241
1065	87,0	853,2	51,9	509,0	16	254
1070	90,9	891,4	54,6	535,4	15	267
1075	94,7	928,7	57,3	560,9	13	280
1080	98,6	966,9	59,8	586,4	12	293

- Material de Aporte para la recuperación: Se utilizo un electrodo para acero inoxidable E-312, marca conarco, se eligio un acero inoxidable para poder evitar que al ser el material base un acero de mediano carbono (AISI 1040) soldado con otro tipo de electrodo rico en carbono que el eje llegara a templarse pues por la adhesión de las moléculas del carbono al eje en la zona afectada térmicamente el porcentaje de carbono aumentaria dentro del material base, de alli la justificación de utilizar este tipo de electrodo. A continuación se dan las características principales de este tipo de electrodo.

Nombre: Conargen E – 106 aws ~ E312-16 ( rutilico – basico )

Características y aplicaciones: Electrodo para soldadura de aceros difícilmente soldables o uniones heterogéneas.

- Adecuado para usar como capa cojin de materiales duros.
- Deposito resistente a la corrosión, a la oxidación y al desgaste.
- Insensible a la figuración en frío y en caliente.
- Utilizado en mantenimiento para reparar piezas expuestas al desgaste, ruedas, dientes de engranajes, herramientas, etc.

Análisis típico del metal depositado.

C: 0,10 %

Mn : 1,15 %

Si: 0,9 %

Cr : 28,7 %

Ni : 9,8 %

Características operativas.

Para soldar en toda posición.

= ( + ) ~ ( 60V )

Propiedades mecánicas del metal depositado, valores típicos.

Resistencia a la Tensión: 660 N/mm<sup>2</sup>

Al/4 Ø: > 20 %

Metalizado en caliente con polvo CPM-1205 Eutectic.

Se utilizó en combinación con la técnica anterior, porque liga de una forma natural con el acero inoxidable por la composición química posee este tipo de polvo (cromo y níquel), además que este tipo de metalizado, al enfriarse a temperatura ambiente, nos sirve como tratamiento térmico para relevar las tensiones originadas por la utilización de la soldadura eléctrica, este tipo de enfriamiento genera un normalizado.

- Los componentes que posee este polvo Eutectic CPM 1205 son:  
Cromo, Níquel, Aluminio, Boro, Sales de cromo, cobalto, cobre, óxido de hierro, manganeso, molibdeno, óxido de nitrógeno, óxido de titanio, tungsteno.

### 3.10 Proceso de Recuperacion

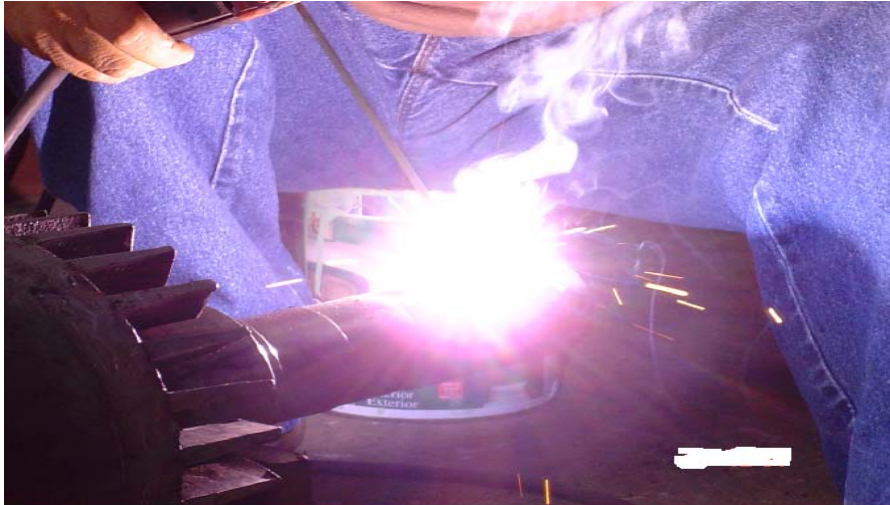
- Proceso de aplicación de soldadura e-312, previo calentamiento en las zonas más desalineadas.

OBJETIVO: Compensar el área más desalineada.

Figura 8 Metalizado







- Proceso de metalizado en caliente, rociando polvo cpm 1205 eutéctico.

OBJETIVO: compensar área menos desalineada

Figura 9 Metalizado en Caliente



- Proceso de maquinado

Fue necesario hacer el proceso de maquinado en dos etapas:

1. Rectificado de aproximación para verificar zonas de poco metalizado.
2. Metalizado de zonas de poco metalizado a riesgo de deformaciones.
3. Rectificado final.

**Figura 10 Proceso de Maquinado**



- Vista del primer muñón terminado del lado izquierdo.

Figura 11 Primer Muñón

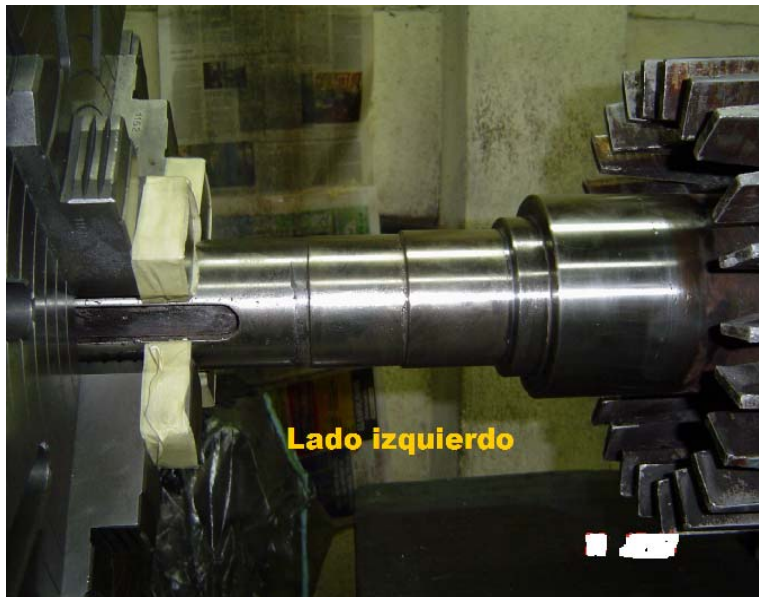


Figura 12 Proceso de maquinado  
de lado derecho



- El eje quedó totalmente alineado en sus muñones.



- El rotor mantuvo su excentricidad inicial de 0.002" y 0.003" por lado.

### 3.11 Verificación de Calidad por parte del cliente

Ubicación: Planta Mauricio, Escuintla

Método: Montaje entre centros verificándose la excentricidad con un indicador de cuadrante.

Figura 13. Montaje del Motor Eléctrico



Figura 14. Funcionamiento

## Verificación de funcionamiento



## CONCLUSIONES

1. La recuperación de piezas es una opción que siempre debe analizarse para determinar sus ventajas técnicas, de seguridad y económicas.
2. De acuerdo a las pérdidas de producción y al costo de la recuperación del motor este se recupera con 2.16 horas de operación de la planta.
3. El balanceo del rotor del motor es un factor importante para la buena operación del mismo.
4. Se utilizó una combinación de técnicas de soldadura por la deformación tan grande que existía en el eje, pues en la parte más desalineada se utilizó soldadura eléctrica y en la menos desalineada (cerca de los alabes del ventilador) se utilizó termorociado, ya que este último tiene el inconveniente de no poderse utilizar en capas mayores de 1/16" porque puede generar desprendimientos, y la parte con más problema tenía un desalineamiento de 3/16", además se utilizó la característica propia del polvo CPM 1205 Eutectic, que es recomendado para aceros de mediano carbono por su propiedad de que al enfriarse al medio ambiente provee un distensionamiento de esfuerzos.
5. Es mucho más fácil que se de un fallo mecánico que un par galvánico por las condiciones de operación del equipo en mención, pues para que se desarrolle este tipo de problema corrosivo tienen que coincidir varios factores, los cuales están en su mayoría cubiertos en este equipo, pero si ocurriera este tipo de problema (par galvánico) sería de utilidad para el eje

pues este quedaria protegido por una capa metálica inoxidable, debido a la corrosión mínima que existe en el equipo.

6. No se utilizo ninguna otra técnica debido a que el eje se encontraba descentrado, por el mal trabajo anterior, de donde cualquier otro tipo de adhesivo eta improcedente.
7. De acuerdo al estado actual del motor y su criticidad en la operación de la planta es necesario tener uno de respaldo en bodega para disminuir el tiempo de reemplazo al momento que fallara el que está instalado.

## **RECOMENDACIONES**

1. Al personal operativo para que lleve un control del mantenimiento que se le da al motor, con el fin de poder verificar alguna fluctuación en su funcionamiento.
2. Al no operar uno de estos motores se pierde un 50% de la producción, es recomendable tener un equipo de soporte para evitar eventualidades.
3. Tener un estricto control de las personas y empresas, que brinden el soporte técnico a la planta con el fin de evitar que los servicios que presten sean los adecuados y con las especificaciones óptimas.
4. La opción de recuperar piezas es necesaria en casos de emergentes, pero por la criticidad de este equipo es mejor el recambio.
5. Que el equipo reparado solo esté en funcionamiento temporalmente, y que sea sustituido lo antes posible.
6. Se recomienda al departamento de mantenimiento de la Geotérmica de San José Calderas el realizar un análisis tribológico de la grasa con un proveedor que se dedique a hacer este tipo de análisis, que utiliza en los rodamientos que sostienen el eje, con el fin de determinar las características de la misma, y poder visualizar de mejor manera si esta es la adecuada a utilizar por el tipo de ambiente corrosivo que existe en el lugar.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Manual del Ingeniero Mecánico. Eugene A. Avallone 9ª. Edición en Inglés y 3ra. Edición en Español.
2. Entrevista y experiencia de Personal de Taller-Mecánica que realizó la recuperación del rotor eléctrico.
3. Manual usuario de Motores Baldor